

Einführung Arten d. Aufbereitung d. Energie:

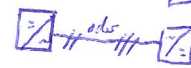
• Umformen mit Änderung d. $\left\{ \begin{matrix} \text{freq.} \\ \text{Spz.} \end{matrix} \right\} : \left\{ \begin{matrix} \text{"verschieben"} \\ \text{"stellen"} \end{matrix} \right\}$

• Mittelbaren Wechsel-/Drehstromrichter:



mit Querkond.: Gleichspannungs-ZK
ohne X: Gleichstrom-ZK

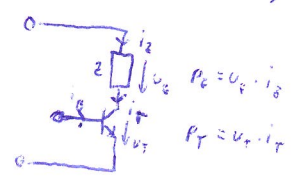
• Mittelbaren Gleichstromsteller:



• ebenfalls mit L/C
• Stern-/Δ-Schaltung möglich

Grundproblem des LCL bei dessen Lsg.:

- a) T sperrt: $P_0 = U_T \cdot i_T = 0$
 $P_T = U_T \cdot i_T = 0$
- b) T leitet: $P_0 = U \cdot I_{max} = P_{max}$
 $P_T = U_T \cdot i_T = 0$



c) Halbe Auslastung: $U_T = \frac{U}{2} = U_T \Rightarrow i_T = \frac{I_{max}}{2} = i_T$

$\hookrightarrow P_0 = \frac{P_{max}}{2} = P_T \Rightarrow \eta = \frac{P_0}{P_T + P_0} = 0,5$

→ Steuerung d. Leistungszufuhr: Schaltbetrieb d) geht in schneller Folge; Steuerung d. mittl. Leistungszufuhr über geeignete Festlegung der Verzögerzeiten

Prakt. Kennzeichnung / Bezugspannung:

- Praktische in: Kennzeichnungsspannung entspricht einem fiktiven Netz/kapazitiv wirkender Verbraucher (es handelt sich beim Gerät um einen freigegebenen Stromrichter)
- Bezug: Kennzeichnungsspannung wird im Stromrichter selbst benutzt

Ideale Einwegrichter:

- ein- & ausschaltbare EWR: Umschaltzeiten vernachlässigbar klein
- kein Spg./Strombeanspruchung in Pufferstrahlung
- relat. Sperrdauer: $T_0 = \frac{T_0}{T_0 + T_g}$
- $\Delta t = T_g + T_0$



relat. Leertastdauer: $T_g = \frac{T_g}{T_g + T_0}$

Potentialverbundene Schaltungen
in Betrieb am eingeprengte Gleichspannung:

Potentialverbundene Gleichstromsteller:

- verzichtet auf Potentialführung $\rightarrow \frac{P_{inst. Schaltverlust}}{P_{max, Übertrag}}$ besonders günstig
- $P_{inst. sel.} = \sum_{v=1}^n U_{pv} \cdot I_{pv}$ ($U_{pv} = \text{theoret. Max-Spg. am Ventil } v$, $I_{pv} = \gamma \cdot \text{Max-Str.}$)

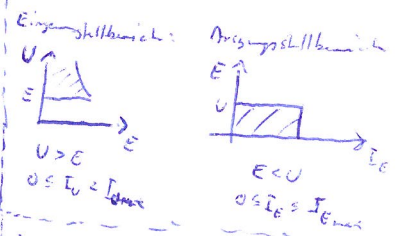
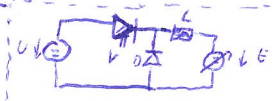
Tiefsetzsteller

(i) V leitend: $i_L(t) = i_b + \frac{U-E}{L} \cdot t$
(T_g)
 $i_L(T_g) = i_b$

(ii) V sperrt: $i_L(t) = i_b - \frac{E}{L} (t - T_g)$
(T_0)
 $\rightarrow E = \frac{T_g}{T_g + T_0} \cdot U$

Stellbereich: (i) $i_b \approx I_L (L \rightarrow \infty)$ und $\hat{i}_v = \hat{i}_{max}$
 $\hookrightarrow \hat{i}_{max} = \hat{i}_{Lmax} = I_{Lmax}$
 $\hookrightarrow I_{Umax} = \hat{i}_{vmax} \cdot \frac{E}{U}$

(ii) $E = \frac{T_g}{T_g + T_0} \cdot U = \sigma_g \cdot U$



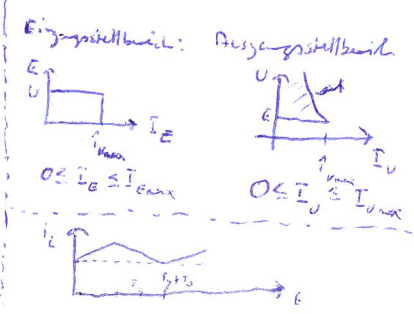
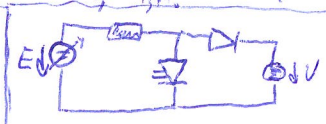
Hochsetzsteller

(i) V leitend: $i_L(t) = i_b + \frac{E}{L} \cdot t$
(T_g)
 $i_L(T_g) = i_b + \frac{E}{L} \cdot T_g = i_b$

(ii) V sperrt: $i_L(t) = i_b - \frac{U-E}{L} (t - T_g)$
(T_0)
 $i_L(T_g + T_0) = i_b$

Stellbereich: (i) $i_b \approx I_L (L \rightarrow \infty)$ und $\hat{i}_v = \hat{i}_{vmax}$
 $\hookrightarrow \hat{i}_{vmax} = \hat{i}_{Lmax} = I_{Lmax}$
 $\hookrightarrow I_{Umax} = \hat{i}_{vmax} \cdot \frac{E}{U}$

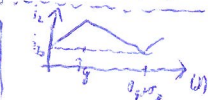
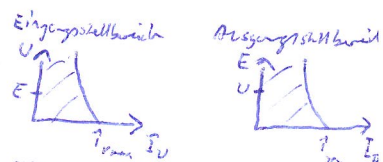
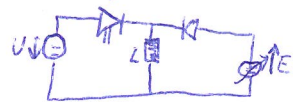
(ii) $E = \frac{T_0}{T_g + T_0} \cdot U = (1 - \frac{T_g}{T_g + T_0}) U = (1 - \sigma_g) U$



Hoch-Tiefsetzsteller

- (i) V leitend: $i_L(t) = i_b + \frac{U}{L}t$
(Tg) $i_L(T_g) = i_b$
- (iii) V sperrt: $i_L(t) = i_b - \frac{E}{L}(t - T_g)$
(T0) $i_L(T_g + T_0) = i_b$

stellbereiche: (i) $i_L = \bar{i}_L$ ($L \rightarrow \infty$) und $\bar{i}_L \leq i_{Lmax}$
 $\hookrightarrow \bar{i}_{Lmax} = i_{Lmax}$
 $\hookrightarrow \bar{i}_{Lmax} = \bar{i}_{Lmax} \cdot \frac{1}{1 - U/E}$
 $\bar{i}_{Lmax} = \bar{i}_{Lmax} \cdot \frac{1}{1 - U/E}$
 (ii) $E = \frac{T_g}{T_0} \cdot U$



Verteilhalter: HSS-TSS-Kaskade:

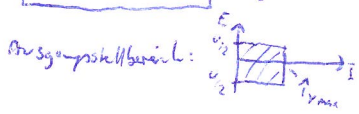
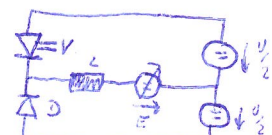


$E < U$: V_1 leitend; V_2 sperrt (HSS)
 $E > U$: V_1 sperrt; V_2 leitend (TSS)

Gleichstromsteller für Mehrquadrantenbetriebe

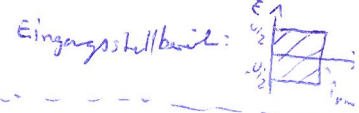
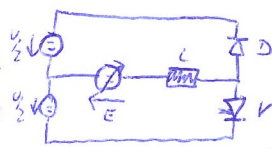
TSS mit Spg.-Verknüpfung an einer Gleichstromquelle m. Mittelabgriff

- (i) V leitend: $e = e_{min} = +\frac{U}{2}$
- (iii) V sperrt: $e = e_{min} = -\frac{U}{2}$
- $\hookrightarrow \bar{e} = U(\bar{t}_g - \frac{1}{2})$
- $E = e - U_L = \bar{e} - 0$ ($\bar{U}_L = 0$ im eingeschw. Zustand)



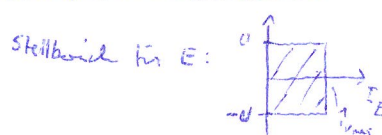
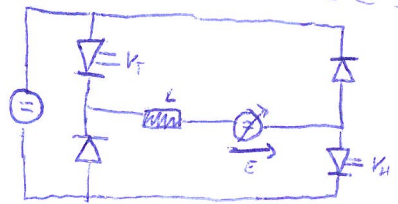
HSS

- (i) V leitend: $e = e_{min} = -\frac{U}{2}$
- (iii) V sperrt: $e = e_{max} = +\frac{U}{2}$
- $\hookrightarrow \bar{e} = U(\frac{1}{2} - \bar{t}_g)$
- $E = \bar{e}$ (s.o.)



Gleichstromsteller in Form einer asymmetrischen Halbbrücke

- (i) ohne Nutzung d. Freilauf-Zustände ($e=0$)
 $\bar{e} = \frac{T_S - T_R}{T_S + T_R} \cdot U$ (Speichen T_S , Rückspan T_R)
- (ii) mit Nutzung d. Freilauf-Zustände ($e=0$)
 • 1. Quadrant: $\bar{e} = \frac{T_S}{T_S + T_F} \cdot U$ (Speichen T_S , Freilauf T_F)
 • 4. Quadrant: $\bar{e} = -\frac{T_R}{T_R + T_F} \cdot U$ (Rückspan T_R , Freilauf T_F)



* = Einphasiges Gleich- und Wechselrichter in Halbbrückenschaltung mit (i) stat. belast. bzw. Mittelabgriff:

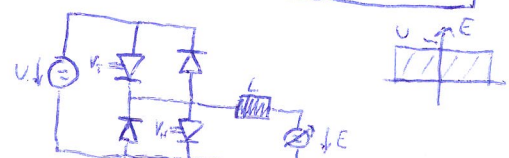


(ii) kapazitiv ausgeführter Mittelabgriff



* Vorteil von (ii): Verhinderung hinsichtlich Spannungsbereich von i_L und Schaltfrequenz d. Vorzeichen

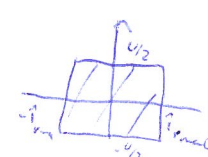
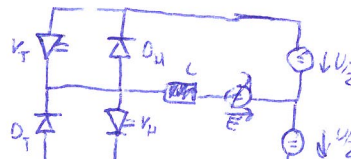
Zweiquadrantensteller mit Stromumkehr



$i_L > 0$:	V_T	Δt	$e = U$
leitend	T_S		
sperrt	T_F		$e = 0$

$i_L < 0$:	V_H	Δt	$e = 0$
leitend	T_F		
sperrt	T_R		$e = -U$

Vierquadrantensteller mit Spg.-Verknüpfung an Spannungsquelle mit Mittelabgriff

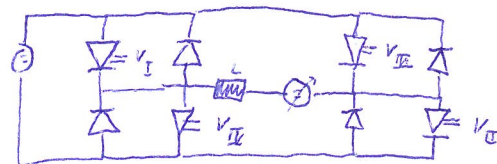


$i_L > 0$:	V_T	Δt	$e = +\frac{U}{2}$
leitend	T_S		
sperrt	T_R		$e = -\frac{U}{2}$

$i_L < 0$:	V_H	Δt	$e = -\frac{U}{2}$
leitend	T_S		
sperrt	T_R		$e = +\frac{U}{2}$

Vierquadrantensteller in vollst. Brückenschaltung

Einphasiger Gleich- & Wechselrichter in Vollbrückenschaltung:



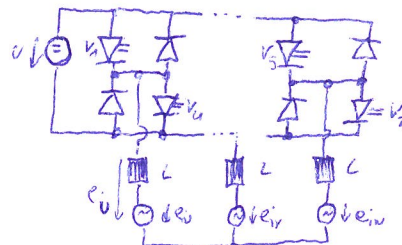
$i_L > 0$	Valve	Δt	e	$i_L < 0$	V	Δt	e
	V_I, V_{II}	T_S	$e = U$		V_{III}, V_{IV}	T_S	$e = 0$
	V_I, V_{III}	T_F	$e = 0$		V_{II}, V_{IV}	T_F	$e = 0$
	V_I, V_{IV}	T_F	$e = 0$		V_{III}, V_{II}	T_F	$e = 0$
	V_I, V_{II}	T_R	$e = -U$		V_{III}, V_{IV}	T_R	$e = -U$

Dreiphasige Ausführungen:

Dreiphasiger Gleich- und Wechselrichter mit 3 Brücken

• geringere Freilaufgrade

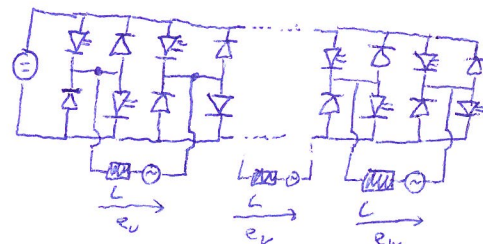
$$P_{max} = \frac{3}{2} U \cdot I_{max}$$



Drei- und einphasiger Gleich- und Wechselrichter in Vollbrückenschaltung

• Ausgangsströme i_a in Phase zu u_a

$$P_{max} = \frac{\sqrt{3}}{2} U \cdot I_{max}$$



Modulationsverfahren

für Steller mit dem ein- und ausströmen Eigenschaften:
(am Bsp. d. TSS)

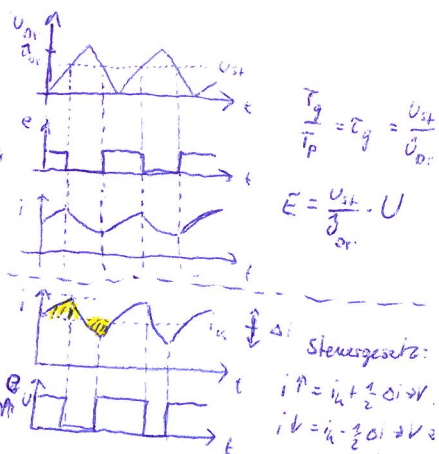
Pulsweitenmodulation

- + günstige Geräuscheigenschaften, wenn $f_p > f_{Hörbereich}$
- + einfache Steuerlogik
- + einfach zur Regelung erweiterbar
- Schaltfrequenz fest \rightarrow höher als unbedingt nötig \rightarrow höhere Verluste
- Schaltverhalten und nicht vernachlässigbare Schaltzeiten d. Valve erfordern Einkantung von T_{gin} und T_{bin}
- $\hookrightarrow T_{gin} \cdot U \leq E \leq T_{bin} \cdot U$
(bzw. $E=0$ und $E=U$)

Steuergesetz: $U_{st} > U_{Dr} \rightarrow V$ leitet

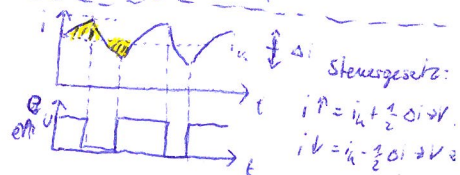
$U_{st} < U_{Dr} \rightarrow V$ sperrt

$T_g + T_o = T_p = \text{const.}$ (Pulsperiodendauer)



Zweipunktregelung

- + Schwingungsbreite von i ist konstant
- + einfache Steuerlogik
- + ausgezeichnete Dynamik
- Geräuscheigenschaften (wegen $T_p = T_g + T_o$)
- keine Gewähr für T_{gin} / T_{bin}
- breitbandiges Störpektrum



Zeitdiskrete Schaltzustandsänderung

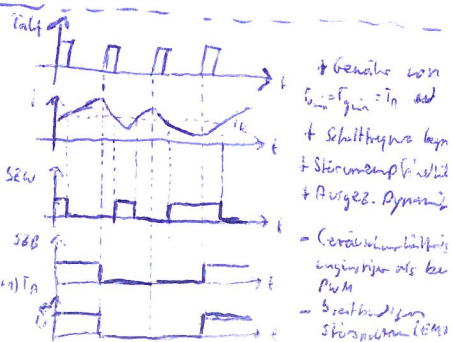
Regelverfahren \rightarrow Systemantwort erforderlich (Kommunikationszeit t_{in})

1. Logik: Bildung d. Schaltzustandswechsel
Bildungsgesetz: $i_n - i_{n-1} > 0 \rightarrow SZW = 1$
 $i_n - i_{n-1} < 0 \rightarrow SZW = 0$

2. Logik: Festlegung d. Schaltzustands befalls

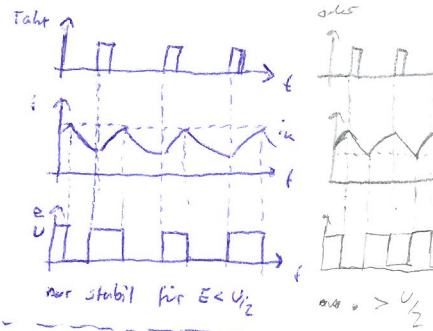
$$SZW|_{e=U_{Dr}} = 1 \rightarrow SZB = 1$$

$$SZW|_{e=U_{Dr}} = 0 \rightarrow SZB = 0$$



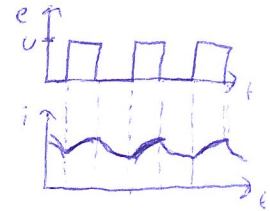
Current-Mode

- Regelverfahren
- Prinzip: 1. Gruppe von Umschalt-Befehlen wird ausgelöst durch äquidistante Taktimpulse
2. Gruppe ... durch das Erreichen d. Schranke



Pulsfolge-/Pulsstrecken-Modulation

- Stufenverfahren
- Folge... : $T_g = \text{const.}$
 $T_0 = T_0(U_{st})$
- Strecken... : $T_g = T_g(U_{st})$
 $T_0 = \text{const.}$



... mit 2 ein- und ausschaltbaren Ventilen (am Bsp. d. AHBS)

PWM: kleine Mithras: Stromgesetz: i

$$U_{st} > U_{Dr} \rightarrow V_F \text{ \& } V_H \text{ leit}$$

$$U_{st} < U_{Dr} \rightarrow V_F \text{ \& } V_H \text{ sperrt}$$

$$T = T_0 = T_p = \text{const.}$$

$$E = \frac{U_{st}}{U_{Dr}} \cdot U$$

(b) $U_{st} > U_{Dr} \rightarrow V_F \text{ leit}$

$U_{st} < U_{Dr} \rightarrow V_F \text{ sperrt}$

$-U_{st} < U_{Dr} \rightarrow V_H \text{ leit}$

$-U_{st} > U_{Dr} \rightarrow V_H \text{ sperrt}$

- relat. Leitdauer von V_F & V_H : $T_g = \frac{U_{st} + U_{Dr}}{2 \cdot U_{Dr}}$

- Schaltwinkel von V_F & V_H sind um $T_p/2$ gegeneinander verschoben

$\rightarrow U_{st} \geq 0 \Rightarrow T_g \geq \frac{1}{2} \left\{ \begin{array}{l} \text{Speisen \& Freilauf} \\ \text{Freilauf \& Rückspeisen} \end{array} \right.$

$E = \frac{U_{st}}{U_{Dr}} \cdot U$

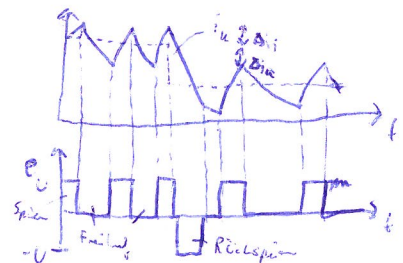
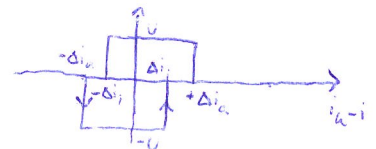
Dreipunktregelung

- Systemantwort erforderlich:

$i_k \in \text{Kennstrom}$

$\Delta i_i \hat{=}$ innere Schwingungsbreite

$\Delta i_n \hat{=}$ äußere ...



... für 1n Gleich- und Wechselrichter (Vollbrückenstellung)

PWM

Mittelwert: $\bar{e}(t) = \frac{2}{T_p} \int_{-T_p/2}^{T_p/2} e(t) dt$

(dabei: $\Delta t = \frac{T_p}{2} \hat{=}$ kleinstes Intervall für eine Mittelung)

$U_{st}(t) = \frac{U_{Dr}}{U} \bar{e}_{soll}(t) \rightarrow U_{st}$ ist immer über halber Pulsperiode konstant

Besonders einfach zu realisieren wenn $T_p \ll T$ (dabei: $T_{soll}(t)$)

falls nicht: T_p muss ganzzahlige Bruchteil von T sein \rightarrow Vermeidung subharmon. Anteile i.d. Ausgangsspannung (Synchronisierung)